

Les récupérations de chaleur
dans le process

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE DANS L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR PROCESS. COMMENT? FAISABILITÉ?



Quand est-ce qu'une récupération de chaleur sur process est possible?

→ **Recommandations pour la réalisation de récupération de chaleur**

- Récupérer la chaleur en interne sur un process
- Récupérer entre des process différents, proches l'un de l'autre, dont un des 2 process fonctionne quasiment en continu

Dans ces conditions, on s'assure de la simultanéité des besoins en chauffage et en refroidissement des deux fluides circulant dans l'échangeur.

Process en agro-alimentaire où une récupération de chaleur est envisageable :

Evapo-concentrateurs	Pré-chauffage du fluide entrant (soit en récupérant de la chaleur dégagée par ce process, soit par un autre) Récupération des vapeurs basse-pression (pour un préchauffage en interne ou sur un autre process)
CIP/NEP	Pré-chauffage des eaux d'appoint (en récupérant de la chaleur rejetée au niveau du CIP ou au niveau d'un autre process)
Séchoirs	Récupération de la chaleur des gaz rejetés et préchauffage du flux d'air entrant
Fours	Récupération de la chaleur rejetée dans les fumées
Groupes de froid	Récupération de la chaleur rejetée (pour du préchauffage sur la même installation ou dans une installation ou un process extérieur)
Pasteurisateurs	Récupération de chaleur « interne » en croisant les flux avant chauffage et avant refroidissement
HVAC	Récupération de la chaleur de l'air sortant pour préchauffer l'air entrant

Récupération de l'eau de vache des évaporateurs dans les installations de NEP (Nettoyage en Place) à la laiterie de Walhorn

Description des installations actuelles :

La laiterie de Walhorn est principalement productrice de poudre de lait. Pour ce faire elle possède deux évaporateurs qui concentrent la matière sèche du lait. Le concentré ainsi produit est ensuite envoyé en haut de tour. Séché par un air préchauffé à 200°C, l'eau résiduelle s'évapore du concentré produisant la poudre récupérée en pied de tour.

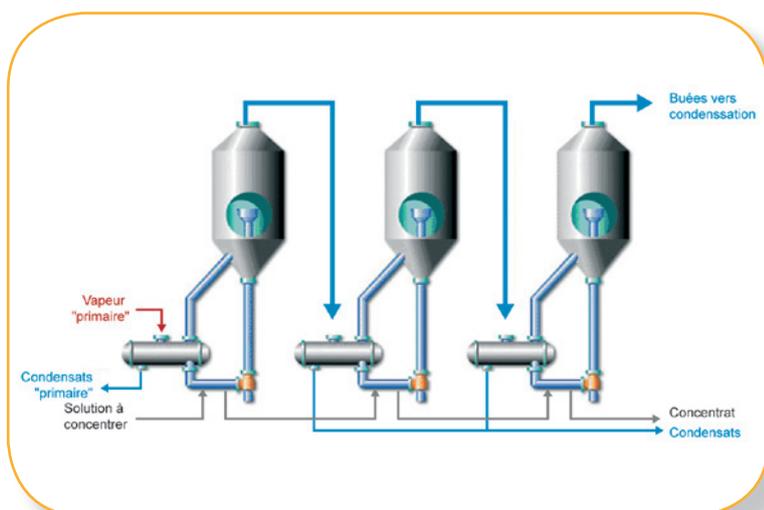


Schéma d'un évaporateur à multiples effets - Source : Document ADEME

A la laiterie, l'eau de vache est envoyée dans des cuves où la température mesurée est d'environ 55°C.

Actuellement, une partie de cette eau de vache est déjà récupérée pour alimenter la bêche des chaudières ainsi que l'installation de NEP (Nettoyage En Place) de ces évaporateurs ; le surplus d'eau de vache est refroidi et rejeté au ruisseau.

Principe des évaporateurs à multiples effets : plusieurs effets, plusieurs étapes de récupération de chaleur !

Un évaporateur type Walhorn possède plusieurs effets. Un effet est un échangeur qui porte à ébullition, sous vide, le lait à l'aide de vapeur. La vapeur est injectée dans le premier effet. Tandis qu'à l'autre extrémité de l'évaporateur, dans le condenseur, on tire le vide.

Ainsi, les buées d'évaporation (vapeurs molles) créées dans le 1^{er} effet servent alors de vapeur de chauffe dans l'effet suivant qui fonctionne alors à une pression plus faible : une nouvelle étape d'évaporation se produit. Et ainsi de suite, jusqu'au dernier effet où la qualité du concentré est celle attendue. A chaque effet, une certaine quantité de la vapeur de chauffe est condensée : c'est "l'eau de vache".

Par ailleurs, avant d'entrer dans le 1^{er} effet de l'évaporateur, le lait est préchauffé d'une part par l'eau de vache ainsi que par les réchauffeurs de chaque effet.



Cuve d'eau de vache chez Walhorn

Pourquoi cette récupération est-elle intéressante ?

La récupération de chaleur se fait entre 2 process relativement proches et dont les heures de fonctionnement sont assez élevées.

Au niveau des évapo-concentrateurs, les récupérations de chaleur telles que le préchauffage du fluide entrant et la récupération des vapeurs basse pression sortantes sont assez fréquents.

Au niveau des CIP/NEP, la récupération de chaleur pour le préchauffage des eaux d'appoint est également très fréquente (comme présentée notamment ici chez Walhorn mais présentée également dans les différents case studies de la brochure « Améliorations énergétiques dans les installations de CIP »)

Description du projet d'optimisation :

Le projet en cours d'étude à la laiterie est d'envoyer ce surplus d'eau de vache à 55°C pour alimenter la NEP de l'installation de « Réception et Pasteurisation » ainsi que la NEP du dépotage.

L'installation de la NEP du REP est constituée de 4 cuves :

- une cuve d'eau propre non chauffée, et alimentée par l'eau de puits,
- une cuve d'eau récupérée non chauffée alimentée par l'eau du rinçage final d'un nettoyage. Cette eau récupérée est réutilisée lors du pré-rinçage,
- une cuve de soude diluée à 2% et maintenue à une température de 80°C,
- une cuve d'acide diluée à 1% et maintenu à une température de 60°C.

L'installation de la NEP du dépotage est constituée de 3 cuves :

- une cuve d'eau propre alimentée en eau de puit,
- une cuve d'eau récupérée,
- une cuve de savon diluée à 1,5% et maintenu à une température de 65°C.

Optimisation : l'eau de vache disponible sera utilisée comme appoint des cuves d'eau propre à la place de l'eau de puits. Il s'agit ainsi d'une économie en eau mais aussi en énergie puisqu'au total 28 m³/jour d'eau ne devront plus être chauffés de 10°C à 55°C.

Le projet d'optimisation en chiffres :

Eau d'appoint pour les cuves acide et de soude	18	m³/jour
Eau d'appoint pour la cuve de savon	10	m ³ /jour
Utilisation	365	jours/an
Total eau d'appoint devant être chauffée	10 220	m ³ /an
Température eau de puit	10	°C
Température moyenne des cuves	70	°C
Température de l'eau de vache	55	°C
Economie en gaz	540	MWh PCS
Economie financière (en tenant compte des coûts du gaz, de l'eau et des produits chimiques)	15 000	€
Temps de retour de l'investissement	1,5	an

Récupération de chaleur sur la tour de séchage Niro à la laiterie de Walhorn

Description de l'installation :

La tour de séchage Niro de la laiterie de Walhorn utilise de l'air extérieur chauffé à la vapeur à 180 - 200°C. Par ailleurs, après utilisation dans le processus, l'air sort de la tour de séchage à 80-90°C.

Description de l'optimisation réalisée en 2007 :

En 2007, la laiterie a installé un échangeur air entrant/air sortant. Cet échangeur permet de préchauffer l'air à l'entrée de la tour de séchage à une température d'environ 55-60°C avant d'être chauffé à la vapeur à la température de 180 - 200°C. Cette optimisation permet ainsi de réaliser d'importantes économies en énergie.

Le projet d'optimisation en chiffres :

température entrée air nécessaire pour séchage	200	°C
température sortie air de la tour séchage	80	°C
puissance échangeur de récupération	550	kW
température entrée air préchauffé avec échangeur	60	°C
température sortie air après échangeur	50	°C
Durée de fonctionnement de l'échangeur	7 500	h/an
Economie en énergie	5 700	MWh PCS/an
Economie financière (hypothèse : 25 €/tonne vapeur)	155 000	€/an
Temps de retour de l'investissement	2	ans

Pourquoi cette récupération est-elle intéressante ?

Il s'agit d'une récupération interne à un même process : croisement des flux entrée froide et sortie chaude.

Au niveau des séchoirs, la récupération de chaleur des gaz chauds et le préchauffage de l'air entrant sont des optimisations de plus en plus fréquentes.

Echangeur sur la tour de séchage chez Walhorn

Récupération de chaleur sur les fumées des fours – Abattoir porcin

Description de l'installation :

Un abattoir de la région de Courtrai possède 1 four à flamber qui permet de flamber 400 cochons par heure. Ce type de four fonctionne grâce à des rampes de brûleurs gaz. Ce four fonctionne par ailleurs de 5h à 16h pendant 4 jours/semaine. Les fumées d'évacuation de ce four peuvent atteindre une température de 350°C à 400°C. Elles contiennent ainsi beaucoup d'énergie qui part à l'atmosphère.

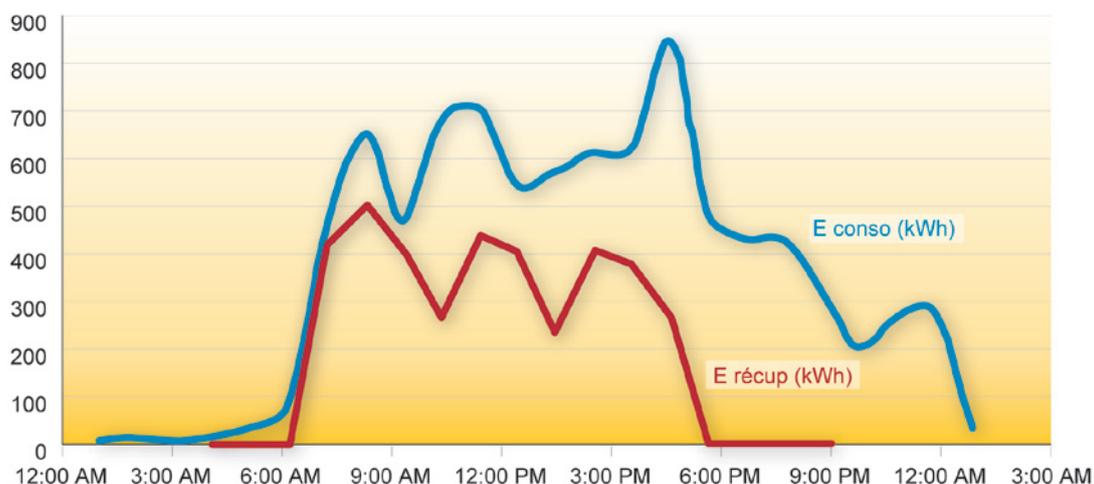
Description de l'optimisation :

Une étude a été menée en 2007 avec des campagnes de mesure de température et débit afin de quantifier l'énergie contenue dans ces fumées.

Cette étude a ainsi permis de mettre en évidence qu'il y avait une puissance de 350 kW disponible en moyenne à la cheminée. L'étude a également permis de dresser le profil de la puissance disponible et donc le potentiel d'énergie récupérable.

Dans le cas de cet abattoir, l'énergie récupérée sous forme d'eau chaude pouvait alimenter le circuit d'eau chaude sanitaire. L'étude a donc également permis d'établir le profil de consommation d'eau chaude sanitaire.

Cheminée du four avant récupération - Source : Coretec Engineering



Potentiel d'énergie récupérable dans les fumées de la cheminée du four à flamber. Source : Coretec Engineering

Ensuite en superposant les 2 profils, la constatation a pu être faite qu'une récupération de chaleur était possible et complètement auto consommée. En intégrant un ballon de stockage, on se prémunit aussi contre une éventuelle « sous consommation » par rapport à la récupération. Ce stockage est par ailleurs absolument nécessaire lorsque la récupération et la consommation ne sont pas concomitantes.

En 2008, l'abattoir investissait pour la réalisation de ce projet : un échangeur de 500 kW a ainsi été installé sur le toit de l'abattoir afin de récupérer la chaleur des fumées sous forme d'eau chaude et d'injecter celle-ci dans le circuit d'eau chaude sanitaire.

De plus, un système de régulation a également été installé afin d'optimiser au maximum le système. Cette régulation permet :

- de maximiser le niveau de récupération dans l'échangeur en pilotant l'extracteur via un variateur de fréquence;
- de régler précisément la température de l'eau primaire et secondaire produite au travers d'une boucle de re-mélange;
- de relayer les alarmes via email ou SMS;
- de réaliser une télémaintenance efficace.

Le projet d'optimisation en chiffres :

température fumées sortie fours	Jusque 350	°C
Débit fumées	9.000	m ³ /h
Puissance échangeur de récupération	500	kW
Durée de fonctionnement de l'échangeur	2.000	h/an
Economie en énergie	935	MWh PCI/an
Economie financière (hypothèse : 30 €/MWh PCI)	28.050	€/an
Temps de retour sur investissement	2-3	ans

Pourquoi cette récupération est-elle intéressante ?

Ce type de projet concerne la récupération de chaleur dans des rejets de gaz chauds pour le préchauffage d'un fluide devant être chauffé quasiment en continu (eau chaude sanitaire par exemple mais cela peut être aussi de l'eau process etc...).



Régulation ECS et monitoring stockage thermique. Source : Coretec Engineering



Abattoir : cheminée du four à flamber avec échangeur de récupération. Source : Coretec Engineering.

Récupération de chaleur sur les climatiseurs des salles froides chez Marcassou

Pourquoi cette récupération est-elle intéressante ?

Il s'agit d'une récupération de chaleur interne à un « process ».

Au niveau des groupes de froid, des récupérations de chaleur sont souvent envisagées étant donné que les étapes de compression et de condensation dégagent de la chaleur.

Description de l'installation actuelle :

Chez Marcassou à Champlon, 80% de la consommation d'électricité est dédiée à la climatisation. Le site contient en fait une trentaine de salles utilisées pour le séchage des saucissons. Chaque salle possède son compresseur de froid et la température et l'humidité doivent être y régulées et contrôlées en permanence.

Description de l'optimisation :

→ Récupération de chaleur sur les compresseurs de froid

En 1992-1993, déjà, Marcassou a investi dans les économies d'énergie en installant des compresseurs de froid avec récupération de chaleur pour la trentaine de climatiseurs sur leur site. En pratique, la chaleur évacuée par le compresseur est envoyée, via une tuyauterie, dans une batterie de récupération qui est en fait la batterie de préchauffage du groupe de ventilation de la salle.

→ Sondes enthalpiques

Une autre optimisation réalisée sur ces climatiseurs a été l'installation de sondes enthalpiques. Ces sondes ont été installées au niveau des aspirations d'air frais extérieur et mesurent l'« énergie » contenue dans cet air. Ces sondes permettent ainsi de tenir compte de la température mais aussi du taux d'humidité de l'air frais. Le signal de ces sondes commande le fonctionnement ou l'arrêt des compresseurs des froid. Ainsi, chez Marcassou, ces sondes permettent de ne pas faire fonctionner ces compresseurs de froid pendant 30% de l'année (autrement dit, quasiment tout l'hiver).

Le projet de récupération de chaleur en chiffres (estimation car ces récupérations de chaleur ont été installées d'origine) :

Nombre de compresseurs	> 20
Puissance	18 kW
Durée de fonctionnement	200 h/mois
Economie Consommation électrique sur 1 compresseur	33%
Economie consommation électrique totale	260 000 kWh_a
Economie financière (hypothèse : 90 €/MWh)	24 000 €

Optimiser la récupération de chaleur sur flash-pasteurisateurs

Description de l'installation :

Beaucoup d'entreprises agro-alimentaires possèdent un process de pasteurisation. Celui-ci permet en effet d'augmenter la durée de vie des denrées alimentaires en détruisant les micro-organismes responsables de leur altération.

La pasteurisation consiste en un traitement thermique entre 60° et 100°C dépendant de la sensibilité des micro-organismes que le produit contient. Le produit est ensuite maintenu chaud pendant un certain temps dans le « chambreur » puis sera refroidi rapidement, raison pour laquelle on parle de flash-pasteurisation.

Un flash-pasteurisateur contient donc différentes zones : une zone « chauffage », une zone « refroidissement » et une zone de « récupération de chaleur » ou « régénération » qui permet de pré-chauffer le produit entrant en le croisant avec le produit avant son refroidissement.

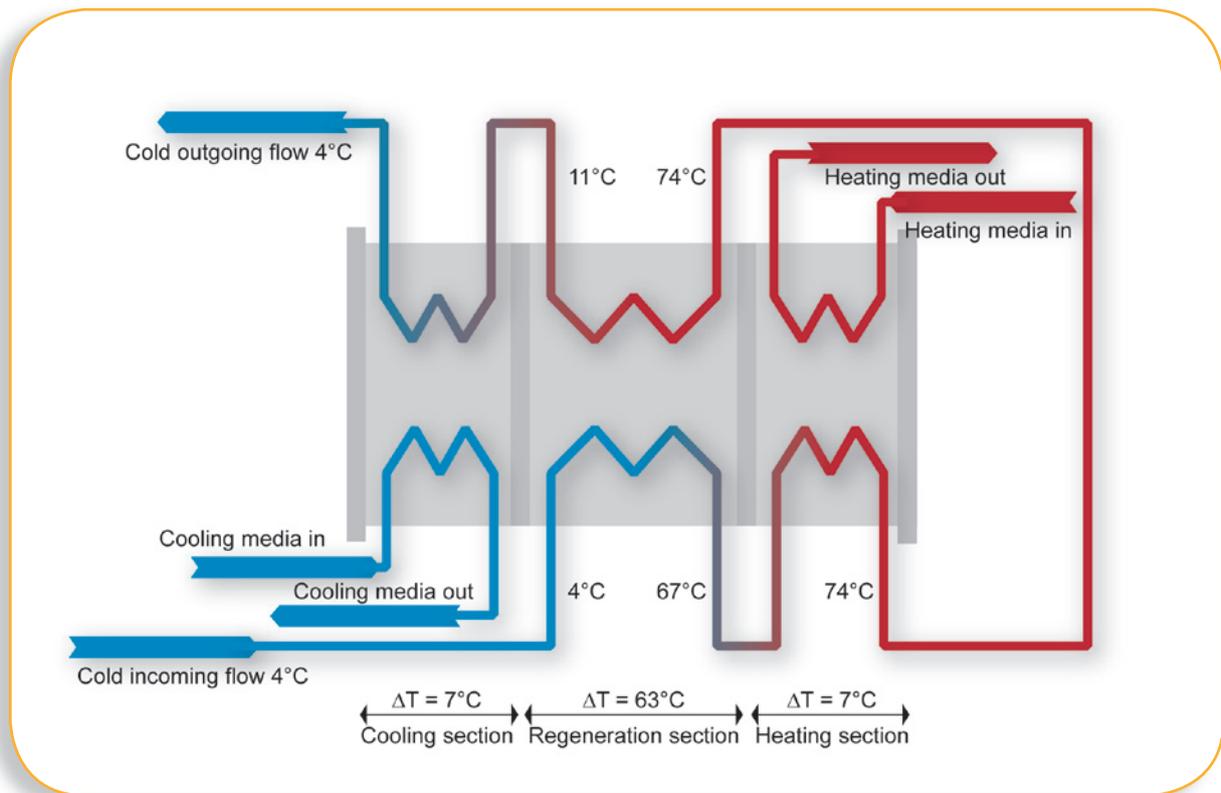


Schéma standard d'un pasteurisateur. Source : APV

Description de l'optimisation :

Le choix d'un pasteurisateur se fait en général en fonction d'un budget fixé à l'avance mais on oublie qu'une optimisation de la récupération de chaleur (ou du taux de récupération) permettra des gains en énergie non négligeables.

Le taux de récupération est le rapport entre l'énergie récupérée et l'énergie totale à apporter. Les taux de récupération usuels sont de:

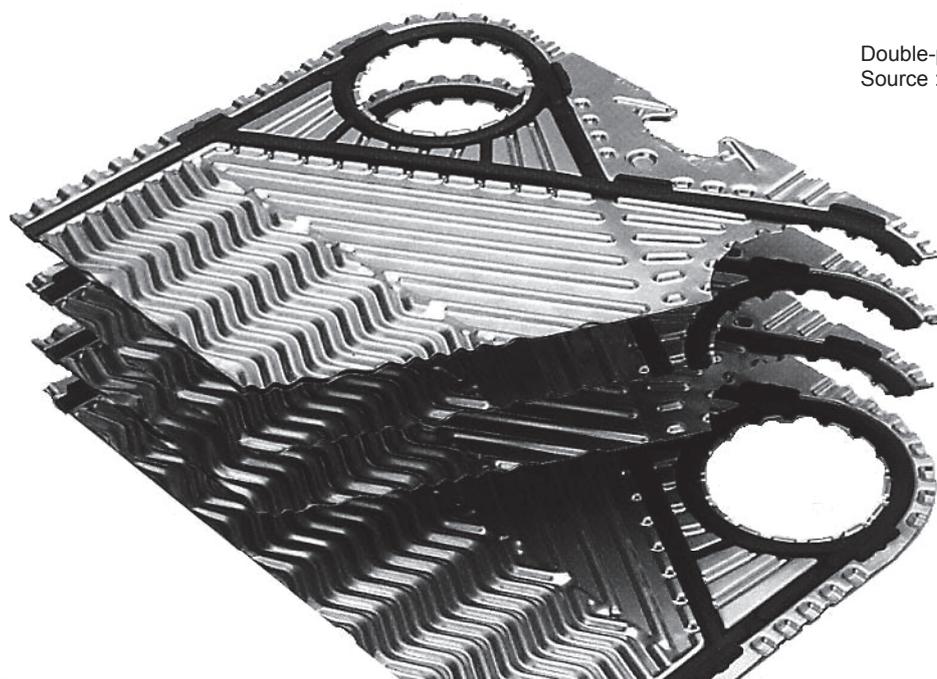
- 90% (produits analogues à l'eau, c'est à dire le lait, le vin, les jus de fruits, la bière, ...)
- 85% (produits visqueux: crème, ...)

Le taux de récupération est le facteur le plus important intervenant dans la détermination de la surface d'échange nécessaire. Augmenter le taux de récupération consistera par conséquent à augmenter le nombre de plaques dans l'échangeur.

Par ailleurs, une autre optimisation peut être l'utilisation de « double-plaques » dans l'échangeur. Celles-ci vont empêcher le mélange des fluides en cas de fuites et sont donc fort utilisées pour des raisons de sécurité-hygiène. Mais, par ailleurs, cela permet de supprimer une pompe et donc de réduire la consommation électrique globale de l'unité. Toutefois, l'utilisation de doubles-plaques entraîne une diminution du rendement d'échange : pour un même rendement, il faudra donc un peu plus de plaques. Une petite étude en fonction des besoins de l'industrie (débits, pressions etc...) au niveau de la pasteurisation est donc nécessaire pour trouver l'optimum économique et environnemental entre les solutions double-plaques, simple-plaques, pompe etc...



Echangeur pasteurisateur pour du lait. Source : APV



Double-plaques dans un échangeur.
Source : APV

Un exemple d'optimisation en chiffres :

Le tableau ci-dessous reprend l'exemple d'un pasteurisateur dimensionné pour un taux de récupération de respectivement 85%, 90% et 95% et reprend les économies d'énergie engendrées par les pasteurisateurs avec taux de récupération de 90% et 95% par rapport au pasteurisateur avec taux de récupération de 85%.

Pourquoi cette récupération est-elle envisageable ?

La récupération de chaleur sur un pasteurisateur est quasiment « de série » puisqu'il s'agit de préchauffer le fluide entrant avec le fluide sortant. Mais il est tout à fait possible d'optimiser nettement cette récupération « de série » afin d'augmenter encore les gains énergétiques.

Débit lait dans le pasteurisateur	15 m ³ /h
Heures de fonctionnement/an du pasteurisateur	2000 heures/an
rendement chaudière eau chaude	90%
COP de la machine frigorifique (compression)	300%

Caractéristiques Echangeur (Données APV)

taux de récupération	85%	90%	95%	
puissance zone chaude	171	114	57	kW
puissance zone récupération	972	1 029	1 086	kW
puissance zone froide	171	114	57	kW
nombre plaques totales de l'échangeur	147	203	405	plaques
Prix budgétaire de l'échangeur	17 800	20 000	28 100	€

Calculs des Economies

Economie puissance chauffage		57	114	kW
Economie en gaz		141	281	MWh gaz PCS/an
Economie en gaz (hypothèse 35€/MWh PCS gaz)		4 926	9 852	€/an gaz
Economie puissance froid		57	114	kW
Economie en électricité		38	76	Mwhé/an
Economie en électricité (hypothèse 90 €/MWhé)		3 420	6 840	€/an électricité

Récupération de chaleur sur les installations HVAC chez Bru



Zone d'embouteillage avec les gaines de soufflage. Source : SPA

Description des installations actuelles :

La zone embouteillage de l'entreprise Bru (membre du groupe Spadel) à Lorcé possède 2 groupes HVAC (Heating, Ventilating & Air Conditioning) qui assurent le chauffage et la ventilation nécessaire à cette zone. Le groupe 1 (GP/GE 1), situé sur la première moitié de la zone embouteillage (zone haute-pression), est le groupe le plus important avec un débit de 80 000 m³/h : il fonctionne en tout air neuf ou en air neuf/air recyclé. Le groupe 2 (GP/GE 2) est situé au-dessus de la 2ème moitié de la zone embouteillage (zone basse-pression), a un débit moins important que le premier et l'air utilisé est l'air ambiant de l'embouteillage. Cette configuration permet un transfert d'air de la zone GP/GE 1 vers la zone GP/GE 2 et ainsi de suite vers le local de stockage situé derrière. Cette configuration permet également au groupe 2 de devoir moins chauffer puisque l'air aspiré par le groupe de pulsion est l'air qui a été chauffé par le groupe 1 : le groupe 2 bénéficie donc des apports calorifiques du groupe 1.

Les batteries chaudes des groupes sont alimentées en eau chaude chauffée par des chaudières fonctionnant au propane.

Description du projet d'optimisation :

→ Phase 1 : Installation de variateur de vitesse

La première phase d'optimisation a été l'installation de variateurs de vitesse au niveau de certains groupes de pulsion et d'extraction des groupes 1 et 2. Cette optimisation ne sera pas détaillée ici mais notons tout de même qu'en réduisant le débit d'air et donc les besoins de chaleur pour chauffer celui-ci, cela entraîne une économie de 30% sur les consommations de propane du système HVAC (et de 53% sur sa consommation électrique).

→ Phase 2 : Récupération de chaleur sur le groupe 1

Etant donné les besoins en chaleur importants du groupe 1 et son accès relativement aisé, des projets d'optimisation du groupe actuel ont été étudiés en 2007 avant d'être réalisés début 2008.

Remarque : Lors de l'installation d'un nouveau groupe HVAC, des machines performantes intégrant directement la récupération de chaleur, à flux croisé, existent mais cette solution était moins intéressante ici étant donné le matériel existant relativement neuf et donc, non amorti.

Une partie importante du projet a consisté en l'étude lors de laquelle des simulations de fonctionnement ont été réalisées en augmentant le recyclage au niveau de l'extraction d'air. Cette étape était importante étant donné que le GP1 possède 9 modes de fonctionnement (en fonction de la production plein régime ou non, en fonction de la température extérieure etc...) : il ne fallait donc pas trouver une solution avec régulation trop complexe.

Début 2008, la batterie de récupération a été installée permettant de préchauffer l'air neuf grâce à la chaleur de l'air sortant par le groupe d'extraction. En pratique, un premier échangeur a été inséré au niveau du groupe de pulsion, un deuxième échangeur au niveau du groupe d'extraction et des tuyauteries ont été installées entre les 2 échangeurs pour transporter le fluide caloporteur.



Echangeur sur le groupe de pulsion. Source : SPA

Et la régulation est assez simple : tant que la température extérieure ne dépasse pas la température de consigne de l'air pulsé (13°C), la récupération de chaleur fonctionne, sinon elle s'arrête.

La récupération de chaleur n'empêche pas non plus le fonctionnement en air neuf/air recyclé. Toutefois, chez Bru, le pourcentage en air recyclé ne peut pas être trop important afin de ne pas réduire les transferts d'air zone haute pression-zone basse pression et afin de ne pas diminuer la qualité d'air. Ainsi, en plein régime (le plus fréquent), le fonctionnement du groupe 1 est 25% air recyclé/75% air neuf.

Remarque : lors du dimensionnement de la batterie de récupération, il est important de réaliser un calcul des pertes de charge. En effet, celles-ci ne doivent pas devenir trop importantes afin de ne pas devoir augmenter la puissance de ventilation. De même, il est important de nettoyer régulièrement les échangeurs de ces batteries.



Echangeur sur le groupe d'extraction. Source : SPA

Le projet d'optimisation en chiffres :

Quelques données techniques

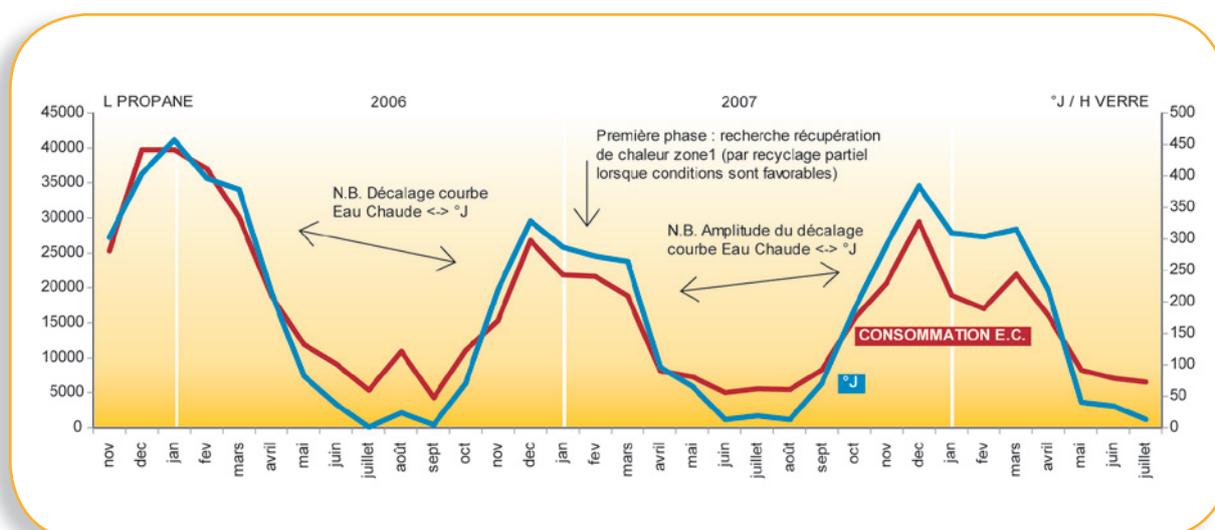
Débit d'air du groupe 1 en plein régime	80 000	m ³ /h
Débit d'air du groupe 1 en mi-régime	40 000	m ³ /h
Température air neuf	3	°C
Température air après préchauffe par la batterie de récupération en fonctionnement mi-régime	8,5	°C

Chiffres de réduction de la consommation

Estimation de l'économie en propane du système HVAC	19%
Estimation de l'économie financière (hypothèse : 0,55 €/litre propane)	39 000 €/an

Pourquoi cette récupération est-elle intéressante ?

La récupération de chaleur sur les groupes HVAC est de plus en plus fréquente étant donné qu'il s'agit d'une récupération interne : croisement des flux entrée froide et sortie chaude d'un même fluide.



Consommations propane pour le chauffage de l'eau sur les groupes de pulsion. Source : SPA

Contacts/références :

En bref, des récupérations de chaleur sont certainement envisageables dans votre entreprise. Cette brochure vous donne des idées de récupération de chaleur possibles au niveau de différents process agro-alimentaires. Cependant, l'étude du potentiel et la mise en œuvre de projets de récupération de chaleur doit souvent être réalisées par des spécialistes. Ci-dessous donc une liste de contacts utiles :

- Site portail Energie de la Région Wallonne : <http://energie.wallonie.be> :
 - Liste des bureaux d'audits agréés par la Région Wallonne
 - Primes de la Région Wallonne
 - Liens utiles

Bibliographie :

Ont collaboré à la rédaction de cette fiche les différentes entreprises citées dans les études de cas et citées en source photographique.

COLOPHON

Opérateurs désignés par la Région wallonne :



Institut de Conseil et d'Études en Développement Durable (ICEDD) asbl

Boulevard Frère Orban 4, 5000 NAMUR

Contact : Stéphanie MARCHANDISE, Responsable de Projets

Tél. : 081 25 04 80 — Fax : 081 25 04 90

Courriel : sm@icedd.be

Econotec Consultants

Rue des Guillemins 26 / 2^e étage, 4000 LIÈGE

Contact : Georges LIEBECQ, Consultant

Tél. : 04 349 56 18 — Fax : 04 349 56 10

Courriel : georges.liebecq@econotec.be

ECONOTEC
CONSULTANTS

Pour le compte de :

Service public de Wallonie

**Direction générale opérationnelle Aménagement du territoire,
Logement, Patrimoine et Énergie**

Département de l'énergie et du Bâtiment durable

Avenue Prince de Liège 7, 5100 Jambes

Tél : 081 33 56 40 — Fax : 081 33 55 11

Courriel : Energie@spw.wallonie.be

Site portail de l'énergie de la Région wallonne :

<http://energie.wallonie.be>



En partenariat avec :

Fédération de l'Industrie Alimentaire (FEVIA) asbl

Avenue des Arts 43, 1040 Bruxelles

Tél. : 02 550 17 40 — Fax : 02 550 17 59

Courriel : info@fevia.be



Editeur responsable :

Dominique SIMON, Directeur.

Crédits photographiques :

photo de couverture : "Cuve d'eau de vache" chez Walhorn"

1^{ère} diffusion électronique, édition octobre 2008

